

Физика конденсированных сред

Современные тенденции в развитии научных исследований обуславливают необходимость междисциплинарного подхода к решению научных проблем с использованием взаимодополняющих ядерно-физических методик. ОИЯИ имеет уникальную экспериментальную базу (импульсный реактор ИБР-2, комплекс ускорителей ЛЯР, Нуклотрон) и обширный опыт теоретических исследований по теме, накопленный в ЛТФ, которые позволяют проводить передовые фундаментальные и прикладные исследования в области физики конденсированного состояния и смежных областях — биологии, медицине, материаловедении, геофизике, инженерной диагностике, направленные на изучение строения и свойств наносистем и новых материалов, биологических объектов, разработку и создание новых электронных, био- и информационных нанотехнологий.

1. Научные направления

Наносистемы и нанотехнологии

Исследования наносистем методами рассеяния нейтронов. Нейтронные методы исследования вещества позволяют получать детальную информацию об атомной и магнитной структуре и динамике материалов на атомном (микро-) и надатомном (нано-) уровнях. Основные направления исследований — магнетизм слоистых наноструктур, нанодиагностика магнитных коллоидных систем в объеме и на границах раздела, углеродных наноматериалов, полимерных нанодисперсных материалов, направленная на определение характеристик их структурного строения на наноуровне и их роли в формировании физических свойств, выработку рекомендаций по разработке и созданию наноструктур и их применению в нанотехнологиях; изучение наноструктуры и свойств липидных мембран и липидных комплексов, надмолекулярной структуры и функциональных характеристик биологических макромолекул белка, ДНК, РНК, и структуры липид-белковых комплексов. В связи с вводом в эксплуатацию CARS-микроскопа предполагается проведение исследований ДНК и колебательных спектров белков.

Экспериментальные и теоретические исследования в области радиационно-ионных технологий. Ускоренные тяжелые ионы являются уникальным инструментом в исследованиях по радиационной физике твердого тела. Существенным преимуществом ускоренных тяжелых ионов является высокая дефектообразующая способность, что позволяет за короткое время создавать в материалах плотность радиационных дефектов, сравнимую с плотностью, получаемой при нейтронном облучении в течение нескольких лет. Важной особенностью использования тяжелых ионов является возможность как модификации макроскопических свойств материалов, так и создания в них наноразмерных структур. Основные направления исследований — изучение воздействия многозарядных ионов с энергиями от ~ 1 кэВ/нуклон до ~ 10 МэВ/нуклон на материалы с целью их наноструктурной модификации, испытания радиационной стойкости, направленного изменения свойств; синтез нанообъектов с уникальными свойствами для применения в электронике, оптике, средствах связи, измерительной технике и др.; исследование свойств микро- и нанопор, получаемых методом ионных треков в различных материалах для разработки элементов нанофлюидной техники, создания молекулярных сенсоров, моделирования биологических мембран; разработки новых перспективных материалов на основе вторичных структур, получаемых на трековых мембранах путем металлизации, плазменной обработки, плазмохимической прививки, пропитки (управляемые полупроницаемые мембраны — вентили, светодиодные матрицы, анизотропные оптические фильтры, фильтры рентгеновского излучения и др.).

Детекторы для исследования наноструктур, создание новых наноматериалов. Разработка детекторов гамма-излучения на основе GaAs для исследования наноструктур; микропиксельные лавинные фотодиоды и их применение в наноиндустрии; исследование наноматериалов методом позитронно-аннигиляционной спектроскопии; синтез фотонных кристаллов на основе наночастиц диоксида кремния.

Теоретические исследования наноструктур. Основные направления исследований — изучение электронных, тепловых и транспортных характеристик разнообразных современных наноматериалов и наноструктур.

Радиобиологические исследования

Терапия онкологических заболеваний на протонных пучках. Проект имеет три этапа. Первый включает разработку трехмерной конформной терапии на протонных пучках фазотрона, подготовку персонала и проведение работ по лицензированию протонной терапии для использования в России и других странах. Второй этап направлен на создание (совместно с ИВА, Бельгия) специализированного медицинского циклотрона для протонной терапии. Последний этап — передача технологии и оборудования протонной терапии в Российский центр протонной терапии (в Дубне или ином месте) с пропускной способностью 1000 пациентов в год.

Исследования механизмов генетического действия ускоренных многозарядных ионов. Изучение закономерностей и механизмов образования и репарации повреждений ДНК в клетках человека. Исследование вопросов действия тяжелых ионов на хромосомный аппарат клеток человека. Мутагенное действие излучений широкого диапазона ЛПЭ на клетки различных организмов.

Исследование воздействия тяжелых частиц на структуры глаза: хрусталик и сетчатку. Основной целью предполагаемого исследования будет моделирование в условиях *in vivo* и *in vitro* молекулярных механизмов возникновения помутнений в хрусталике (катаракты) человека, подвергнувшегося облучению тяжелыми ионами.

Исследования закономерностей биологического действия ускоренных тяжелых ионов на центральную нервную систему. Основной задачей планируемых исследований в этой области будет изучение морфологических, цитологических и молекулярно-физиологических нарушений в структурах центральной нервной системы, модификация поведенческих функций у облученных животных.

Математическое моделирование биофизических систем. Планируется разработка математических моделей индуцированного мутационного процесса у клеток про- и эукариот при действии излучений с разными физическими характеристиками. Методами молекулярной динамики планируется выполнение моделирования хромофора родопсина – 11-цис ретиналя и окружающих аминокислотных остатков в хромофорном участке при физиологической регенерации зрительного пигмента.

Новые материалы

Исследования новых материалов методами рассеяния нейтронов. Основные направления исследований — изучение кристаллической и магнитной структуры новых функциональных материалов, нано- и макроструктуры магнитных полупроводников, атомной динамики материалов методами рассеяния нейтронов, анализ взаимосвязи между особенностями их структурного строения и физическими свойствами.

Теоретические исследования новых материалов. Основное внимание в планируемой программе теоретических исследований будет уделено анализу новых материалов с сильной электронной корреляцией, что предполагает изучение новых кооперативных явлений, новых видов упорядочения, магнетизма в низкоразмерных системах и квантовых критических явлений. Теоретические исследования в этой области будут направлены на поддержку экспериментального изучения этих материалов с помощью рассеяния нейтронов.

Инженерная диагностика. Науки о Земле

Основные направления исследований — определение внутренних напряжений в объемных материалах и изделиях, исследование текстуры и свойств минералов и горных пород.

2. Ожидаемые результаты

Наносистемы и нанотехнологии

Определение распределения намагниченности по глубине в слоистых наноструктурах, анализ влияния эффектов близости на магнитные свойства. Выработка рекомендаций по разработке и созданию наноструктур для их применения в элементах наноэлектроники.

Определение структурных параметров и механизмов стабилизации магнитных коллоидных систем, углеродных наноматериалов, выявление связи между структурой исследуемых систем и их физико-химическими свойствами.

Исследование межчастичного взаимодействия и кластерообразования магнитных коллоидных систем в различных типах жидких и твердых носителей. Определение количественных и функциональных характеристик структуры новых полимеров.

Анализ наноструктурной модификации, направленного изменения свойств и радиационной стойкости материалов при воздействии многозарядных ионов; синтез нанообъектов с уникальными свойствами для применения в электронике, оптике, средствах связи, измерительной технике и др.

Разработка теоретических моделей для описания электронных, тепловых и транспортных характеристик наносистем, в частности углеродных нанотрубок.

Получение сведений о транспортных свойствах асимметричных электрически заряженных трековых нанопор; получение данных о свойствах композитных трековых мембран с управляемой селективностью.

Разработка новых типов трековых наномембран (в том числе в рамках инновационных проектов).

Определение характеристик наноструктуры модельной липидной матрицы верхнего слоя кожи человека, определение роли отдельных церамидов в формировании ее диффузионных свойств.

Определение характеристик диффузионного процесса фармацевтических растворов через модельные липидные матрицы. Определение структурных и функциональных характеристик биологических макромолекул.

Радиобиологические исследования

Определение молекулярных нарушений в ДНК клеток человека при действии тяжелых заряженных частиц и структурных повреждений хромосомного аппарата, анализ генетического контроля индуцированного мутационного процесса у клеток с различным уровнем организации генома.

Выработка рекомендаций о пороговых дозах заряженных частиц, способных вызвать повреждение хрусталика, сетчатки, способов профилактики глазных заболеваний.

Разработка математических моделей мутационного процесса у клеток про- и эукариот, индуцированного излучениями разного качества, моделирование структур биологически важных макромолекул.

Синтез новых радиоизотопов медицинского применения.

Новые материалы

Определение характеристик кристаллической и магнитной структуры и физических свойств на наноуровне в сложных оксидах переходных металлов, мультиферроиках.

Определение особенностей молекулярной динамики и параметров кристаллической структуры биологически активных материалов.

Определение структурных характеристик материалов для перспективного использования в водородной энергетике и твердотельных топливных элементах, анализ поведения фононных мод в реакторных материалах.

Построение теоретических моделей взаимного влияния электронной структуры, магнитных и транспортных свойств комплексных систем.

Получение новых данных об особенностях синтеза в металлах многокомпонентных монодисперсных наночастиц в процессе низкотемпературного низкодозного облучения тяжелыми ионами.

Инженерная диагностика. Науки о Земле

Определение внутренних напряжений в геологических материалах (текстура, деформации), в объемных материалах и изделиях для атомной науки и техники.

Определение внутренних напряжений в промышленных материалах и изделиях. Выявление закономерностей возникновения неустойчивости горных пород для развития представлений о процессах в очагах землетрясений.

3. Экспериментальная и методологическая база

Нейтроннографические исследования

В течение 2010 года будет завершаться реконструкция реактора ИБР-2 — основной базовой установки ОИЯИ для нейтронных исследований в области физики конденсированных сред, обладающей параметрами мирового уровня и единственной в странах-участницах ОИЯИ. На спектрометрах реактора ИБР-2 действует программа пользователей, в рамках которой исследователям из стран-участниц ОИЯИ предоставляется возможность проведения экспериментов по поданным заявкам. Работы по физическому и энергетическому пускам реактора с комплексом замедлителей тепловых и холодных нейтронов будут проводиться поэтапно:

1. Физический пуск и начало энергетического пуска, первые физические эксперименты (с водяными замедлителями) — 2010 год.
2. Завершение энергетического пуска — 2011 год.
3. Внедрение комплекса криогенных замедлителей: замедлитель для каналов № 7–11 — 2010 год, замедлители для каналов № 2–3 и № 4–6 — 2011 год.
4. Первые физические эксперименты с использованием криогенных замедлителей — 2011–2012 гг.

План работ на период 2010–2016 гг.:

1. Вывод реактора ИБР-2М на проектные параметры. Исследования физических характеристик реактора ИБР-2М.
2. Эксплуатация реактора в паспортном режиме и обеспечение физической программы исследований на выведенных пучках нейтронов.
3. Освоение и эксплуатация комплекса криогенных замедлителей. Приобретение и запуск в эксплуатацию новой холодильной машины для каналов 4–6.
4. Создание резервного подвижного отражателя ПО-3Р.
5. Обновление технологического оборудования реактора с истекающими сроками службы (воздушные теплообменники, электромагнитные насосы и т.д.).
6. Подготовка концепции использования ИБР-2М после 2030 года.

Программа развития комплекса спектрометров для ИБР-2М:

1. Реализация проектов создания новых спектрометров: ДН-6, ГРЭЙНС, ФСД, которые позволят значительно расширить области научных исследований на реакторе ИБР-2М на мировом уровне.
2. Модернизация существующих спектрометров: ФДВР, ДН-2, ДН-12, СКАТ/ЭПСИЛОН, ЮМО, РЕМУР, РЕФЛЕКС, ДИН2-ПИ, НЕРА-ПР, направленная на улучшение их технических параметров (светосилы, разрешения, отношения эффект/фон).

3. Разработка проектов новых спектрометров: спектрометра малоуглового рассеяния нейтронов и рефлектометра с атомным разрешением.

4. Разработка и апробация новых нейтронно-оптических методов исследования структуры и динамики наносистем и конденсированных сред, включая спин-эхо методики и другие методики на основе ларморовской прецессии спина нейтрона.

5. Модернизация элементов спектрометров, разработка новых типов детекторов нейтронов и систем сбора данных, развитие сетевой и компьютерной инфраструктуры.

6. Криогенные исследования.

**Финансирование (тыс. долл. США)
Научные исследования**

Работы	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Нейтроннографические исследования	120	120	130	140	140	140	150
Биомедицинские исследования с использованием тяжелых заряженных частиц	118	139	163	193	232	268	335
Исследования в области теории конденсированного состояния	46	50	54	59	63	68	72
Итого	284	309	347	392	435	476	557

**Финансирование (тыс. долл. США)
Экспериментальная и методологическая база**

Работы	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Модернизация реактора ИБР-2М	960	850	855	375			
Эксплуатационные расходы реактора ИБР-2М	500	500	500	500	500	900	1 000
Модернизация физической защиты ИБР-2М	1 360	150	150	150			
Комплекс спектрометров ИБР-2М: проекты создания и модернизации спектрометров первого приоритета (ДН-6, СКАТ/ЭПСИЛОН, ГРЭЙНС)	533	591	662	650	500	400	100
Проекты модернизации спектрометров второго приоритета (ФСД, РЕМУР, ЮМО, ФДВР, ДН-2, НЕРА, ДИН2-ПИ), разработка новых методов исследований				137	426	674	1 045
Разработка и создание элементов спектрометров, детекторов, систем сбора и накопления данных, развитие сетевой инфраструктуры	190	280	390	545	630	665	730
Оборудование для холодных замедлителей реактора ИБР-2М, модернизация замедлителей	35	50	45	80	100	160	200
Развитие инфраструктуры ЛРБ	171	145	156	175	207	224	243
Итого	3 749	2 566	2 758	2 612	2 363	3 023	3 318

Радиационно-ионные технологии, радиоизотопные и радиобиологические исследования

Созданное в ЛЯР семейство ускорителей тяжелых ионов — ИЦ100, У-200, У-400, У-400М — обеспечивает широкие возможности для радиационно-физических и радиоизотопных исследований с ионами от бора до ксенона в диапазоне энергий 1–20 МэВ/нуклон.

Планируется дальнейшее развитие как отдельных ускорительных установок, так и создание ускорительных комплексов для научных и прикладных исследований, а также промышленности. В частности, предполагается:

- совершенствование ИЦ-100 (вакуумная система, повышение энергии пучка, повышение интенсивности пучка, ускорение ионов W и др.);
- реализация массового облучения полимерных пленок на ускорителе ДЦ-60 (Астана);
- запуск циклотрона ДЦ-72 в Циклотронном центре (Братислава) для прикладных и медицинских применений;
- создание ЭЦР-источника для радиационной обработки материалов и многоэлементной имплантации;
- создание специализированного оборудования для тестирования микросхем на пучках У-400.

Новые инновационные проекты:

- разработка специализированного ускорителя для проекта «Бета» — изготовление трековых мембран для каскадной фильтрации плазмы крови (интенсивность пучка $5 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$, энергия ионов 2,4–2,5 МэВ/нуклон);
- создание новых типов трековых мембран для медицинских целей в рамках проекта «Бета»;
- использование экспериментальной базы ЛЯР (главным образом ускорителей) в рамках Международного инновационного центра нанотехнологий в ОИЯИ и Особой экономической зоны «Дубна».

Радиоэкологические исследования, сверхчистые изотопы:

- использование микротрона МТ-25 (фотоядерные реакции) и циклотрона У-200 (реакции (α, xn)) для получения уникальных изотопов, в том числе $^{178\text{m}}\text{Hf}$, ^{225}Ac , ^{236}Pu , ^{237}Pu .

Работы	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Развитие экспериментальной базы для радиационно-физических и радиоизотопных исследований (ИЦ-100, МТ-25, У-200) и новые инновационные проекты (ДЦ- 60М, ДЦ-72, ТМ и др.)	Выполнение работ по заказам и контрактам						